

УДК 624.014

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНОЙ УКРУПНИТЕЛЬНОЙ РАМЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ МОРСКОЙ СТАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Синцов А.В., Данченко Н.В.

Институт «Академия строительства и Архитектуры», ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: sin59@bk.ru

Аннотация. Одним из ключевых регионов роста добычи нефти и газа в ближайшей перспективе для российской нефтяной промышленности является Северный Каспий. Шельф Каспийского моря разрабатывает компания ОАО «Лукойл». Самое крупное из разведанных в России за последние 20 лет, месторождение им. В. Филановского, в нем сосредоточены основные извлекаемые запасы нефти. Для освоения месторождения им. В. Филановского строится комплекс гидротехнических сооружений и одним из этих сооружений комплекса является ледостойкая морская платформа.

Предмет исследования: Опорные блоки и многоярусную стальную палубу морской стационарной платформы (МСП) изготавливают и оснащают на судоремонтном заводе. Для доставки таких крупногабаритных и тяжелых блоков МСП на место установки в море требуется стальная укрупнительная рама (СУР). СУР представляет собой сложное пространственное стержневое инженерное сооружение. Работа элементов и узлов СУР изучена недостаточно глубоко и требует уточнения.

Материалы и методы: ПК ЛИРА САПР позволяет получить картину распределения напряжений в элементах стержневых металлических конструкций. Для изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов СУР и узлов их сопряжения разработаны две конечно-элементные модели (КЭМ) с учетом особых нагрузок на различных этапах транспортировки.

Результаты: В результате исследований на статическое и динамическое воздействие от внешних нагрузок получены - деформированные и прочностные схемы с информацией по элементам СУР. По результатам анализа прочностных расчетов получены следующие данные - при нагрузке «волнение «вверх - вниз справа», усилия в элементах 2-й КЭМ по отношению к 1-й КЭМ ниже на 1 %; - при нагрузке «волнение «скручивание левое против часовой», усилия в элементах 2-й КЭМ по отношению к 1-й КЭМ ниже на 11-20 %; - устройство поясов вертикальных ферм (ВФ) в виде составного Н-образного профиля из стали 14Г2 снижает расход материала до 5 % по сравнению с альтернативными сечениями; устройство решетки ВФ трубчатого сечения и связевых элементов из стали 14Г2 снижает расход материала до 25 % для элементов решетки и до 10 % для связевых элементов по сравнению с альтернативными сечениями.

Выводы: СУР, которые соединяют между собой опорные блоки МСП, необходимо проектировать в виде пространственного стержневого бруса, состоящего из вертикальных ферм прямоугольного очертания, с подкосами в приопорных панелях. Для придания СУР более высокой жесткости вертикальные фермы объединяются между собой системой вертикальных и горизонтальных связей.

Ключевые слова: морская стационарная платформа, стальная укрупнительная рама, конечный элемент, прочность, устойчивость.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из ключевых регионов роста добычи нефти и газа в ближайшей перспективе для российской нефтяной промышленности является Северный Каспий. Шельф Каспийского моря разрабатывает компания ОАО «Лукойл». Самое крупное из разведанных в России за последние 20 лет, месторождение им. В. Филановского, в нем сосредоточены основные извлекаемые запасы нефти [1].

Для освоения месторождения им. В. Филановского строится комплекс гидротехнических сооружений (рис. 1.) и одним из этих сооружений комплекса является ледостойкая морская платформа (ЛСП-1).



Рис. 1. Комплекс сооружений для обустройства месторождения им. В. Филановского.

Fig. 1. A complex of facilities for the development of the field named after V. Filanovsky

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Тяжелые погодные условия в точке установке ЛСП, удаленность от берега, продолжительность закрепления платформы предъявляют к сооружениям данного типа требования высокой степени заводской готовности со сведением к минимуму объемов сборочно-монтажных работ, выполняемых непосредственно в открытом море. Изготовление элементов, блоков, секций, модулей осуществляется на специализированных береговых судоремонтных и судостроительных заводах [2, 3, 6].

Исходя из вышесказанного, опорные блоки и многоярусную стальную палубу морской стационарной платформы (МСП) изготавливают и оснащают на судоремонтном заводе. Для доставки таких крупногабаритных и тяжелых блоков МСП на место установки в море требуются стальные укрупнительные рамы (СУР). Работа элементов и узлов таких СУР изучена не достаточно глубоко. Стальная укрупнительная рама (СУР) представляет собой сложное пространственное стержневое инженерное сооружение.

На сегодняшний день в качестве руководства по проектированию СУР применяют рекомендации государственных и ведомственных строительных норм [9, 10], а также результаты исследований немногих авторов (Г. В. Симаков, Ш.Э. Булгаков, П.П. Бородавкин, В.С. Игнатович, П.П. Адамянц [5, 7, 8]). Интересная информация по данному вопросу представлена в работах [4, 11].



Рис. 2. Момент объединения опорных блоков платформы стальной укрупнительной рамой на строительной площадке

Fig. 2. The moment of combining the supporting blocks of the platform with a steel enlargement frame at the construction site

Напряженно-деформированное состояние (НДС) элементов СУР и узлов их сопряжения зависит от их конструктивного решения особых нагрузок при транспортировке. Информация о поведении таких конструкций под нагрузкой ограничена и требует дополнительных исследований. В этой связи возникла необходимость проверки металлических конструкций СУР с использованием рекомендуемого для этих целей ПК «ЛИРА САПР» [12].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Для исследования поведения элементов СУР под нагрузкой были разработаны две пространственных конечно-элементных модели, представленные на рис. 3.

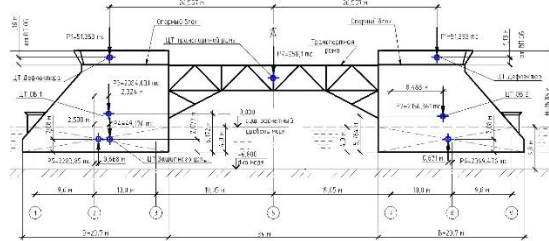


Рис.3. Общий вид расчетной модели стальной укрупнительной рамы

Fig. 3. General view of the design model of the steel enlargement frame

В моделях СУР основные вертикальные фермы выполнены прямоугольного очертания.

Отличие 2-ого вариант конечно-элементной модели (КЭМ) СУР от 1-ого состоит в следующем:

- в приопорных панелях ферм установлены подкосы для увеличения высоты ферм;
- фермы объединены между собой в единый пространственный стержневой блок вертикальными связями и системами горизонтальных связей в уровне верхних и нижних поясов ферм.

В результате проведенных расчетов на различные виды загрузки моделей определены максимальные перемещения узлов моделей и максимальные усилия в конечных элементах СУР. Результаты исследований представлены на рис. 4...10.

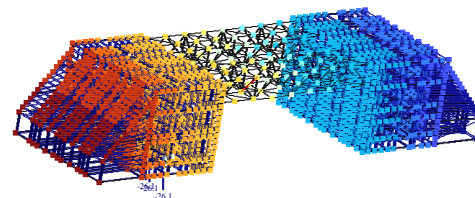
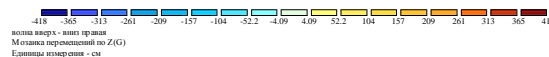


Рис. 4. Деформированная схема расчетной модели стальной укрупнительной рамы (волнение -верх-вниз правая).

Fig. 4. Deformed diagram of the design model of the steel consolidation frame (excitement-upside-down right).

Анализируя результаты деформационных расчетов по жесткости можно сделать следующие выводы.

- при волнении «вверх – вниз правая» жесткость второй КЭМ по отношению к первой КЭМ выше на 3 %;
- при волнении «скручивание левое против часовой» жесткость второй КЭМ по отношению к первой КЭМ выше на 35 %;

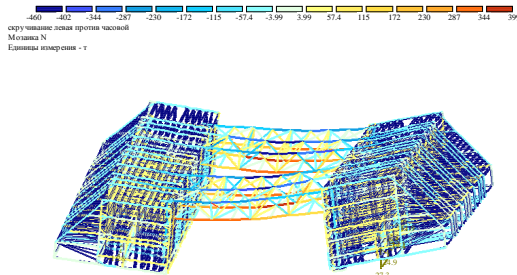
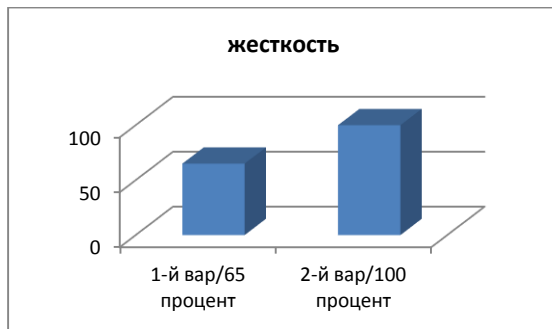


Рис. 5. Продольные усилия в элементах расчетной модели стальной укрупнительной рамы (скручивание левое против часовой)

Fig. 5. Longitudinal forces in the elements of the design model of a steel enlargement frame (twisting left counterclockwise)

А.



Б.

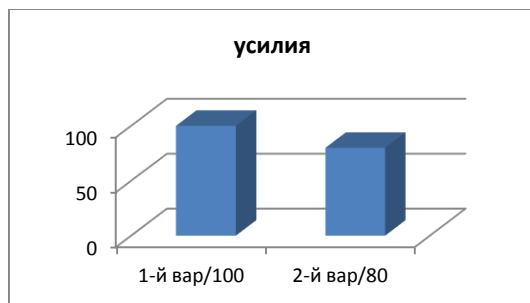


Рис. 6. Сравнение результатов расчетов моделей стальной укрупнительной рамы:

А – деформационных, Б – прочностных

Fig. 6. Comparison of the results of calculations of steel enlargement frame models:

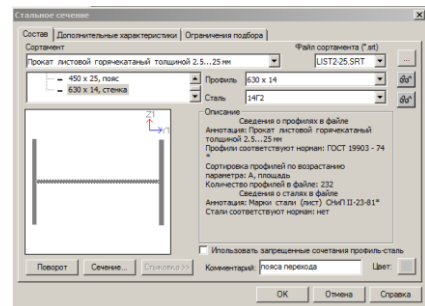
А – deformation, В – strength

Анализируя результаты прочностных расчетов можно сделать следующие выводы.

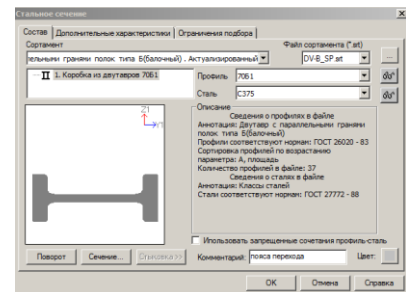
- при волнении «вверх – вниз правая» усилия в элементах второй КЭМ по отношению к первой КЭМ ниже на 1 %;
- при волнении «скручивание левое против часовой» усилия в элементах второй КЭМ по отношению к первой КЭМ ниже на 11-20 %.
- принимаем решение – для дальнейших исследований по подбору эффективного сечения элементов стальной укрупнительной рамы используем второй вариант СУР.

Дальнейшие исследования позволили определить эффективные сечения элементов усовершенствованного варианта стальной укрупнительной рамы – 2-я конечно-элементная модель.

Для сравнения рассматривались следующие сечения элементов стальной укрупнительной рамы А.



Б.



В.

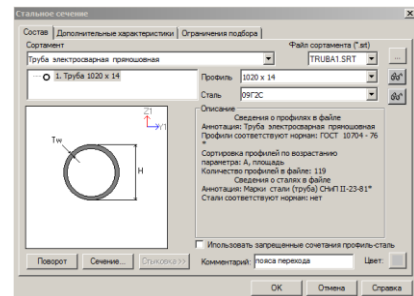


Рис. 7. Сечения элементов, принятые для сравнения:

А – составное Н-образное сечение, Б – составной короб из 2-х двутавров, В – трубчатое.

Fig. 7. Sections of elements taken for comparison:

А – composite H-shaped section, В – composite box of 2 I-beams, С - tubular.

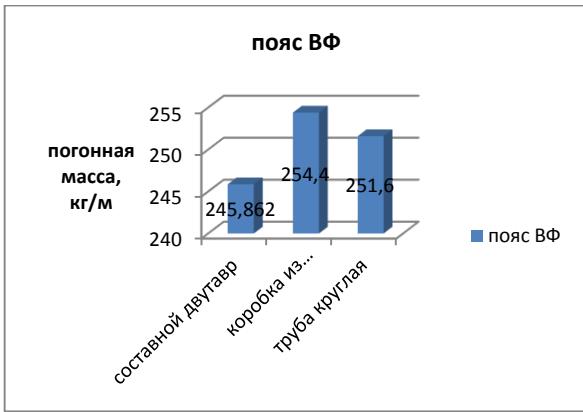


Рис. 8. Сравнение результатов подбора сечений поясов вертикальных ферм стальной укрупнительной рамы
Fig. 8. Comparison of the results of the selection of sections of the chords of vertical trusses of a steel enlargement frame

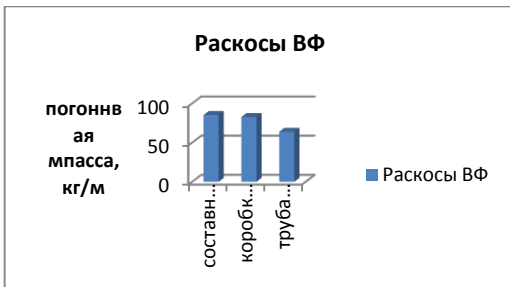


Рис. 9. Сравнение результатов подбора сечений раскосов вертикальных ферм стальной укрупнительной рамы
Fig. 9. Comparison of the results of selection of sections of braces of vertical trusses of a steel enlargement frame

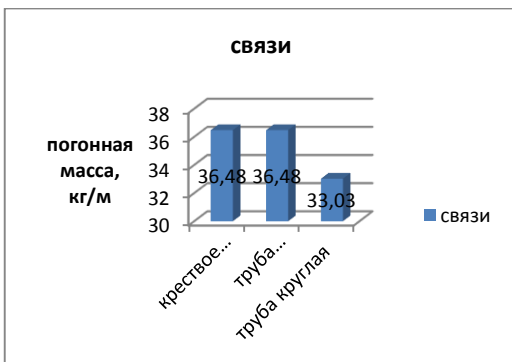


Рис. 10. Сравнение результатов подбора сечений связей стальной укрупнительной рамы
Fig. 10. Comparison of the results of the selection of cross sections of the steel enlargement frame ties

Анализ результатов исследований позволил сделать следующие выводы:

- устройство поясов вертикальных ферм в виде составного Н-образного профиля стали высокой прочности 14Г2 позволило снизить

расход материала на 3,5...5 % по сравнению с альтернативными сечениями;

- устройство решетки вертикальных ферм трубчатого сечения из стали высокой прочности 14Г2 позволило снизить расход материала на 22,8...25 % по сравнению с альтернативными сечениями;

- устройство решетки вертикальных ферм трубчатого сечения из стали высокой прочности 14Г2 позволило снизить расход материала на 3,9...9,5 % по сравнению с альтернативными сечениями.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Рекомендации по проектированию.

СУР – это конструкция, предназначенная для транспортировки по реке и морю и установке ледостойкой стационарной платформы (ЛСП) на точку добычи углеводородов и должна удовлетворять требованиям прочности, устойчивости, неизменяемости конструкции, а также технологическим требованиям – соблюдению разрывов между блоками и размеров блоков ЛСП по высоте.

Алгоритм проектирования СУР:

1. Вертикальные фермы СУР выполняются прямоугольного очертания. При этом расположение элементов должно быть выше уровня воды по пути следования и на месте установки на точку всех элементов СУР и их узлов крепления к опорным блокам с учетом несущих стоечно-балочных элементов опорных блоков ЛСП.

2. Для снижения усилий в опорных элементах СУР в приопорных панелях вертикальных ферм необходимо устанавливать подкосы для увеличения высоты ферм.

3. Для придания СУР высокой жесткости вертикальные фермы должны быть объединены между собой в единый пространственный стержневой блок вертикальными связями и системами горизонтальных связей в уровне верхних и нижних поясов ферм.

4. Исполнение узловых соединений связевых элементов с несущими вертикальными фермами СУР возможно, как в бесфасоночном исполнении, так и с вертикальными и горизонтальными ребрами.

5. При проектировании стальной укрупнительной рамы элементы вертикальных ферм и связей следует принимать по расчету следующих сечений:

- пояса вертикальных ферм – сварной Н-образный профиль;
- раскосы вертикальных ферм – труба круглая;
- стойки вертикальных ферм – труба круглая;
- опорный раскос – сварной двутавр;
- горизонтальные связи – труба круглая;
- вертикальные связи - труба круглая;
- распорки связей - труба круглая.

6. Компоновку конструкций и узлов сопряжения элементов СУР между собой проводить в соответствии с решениями, приведенными на рис. 11.

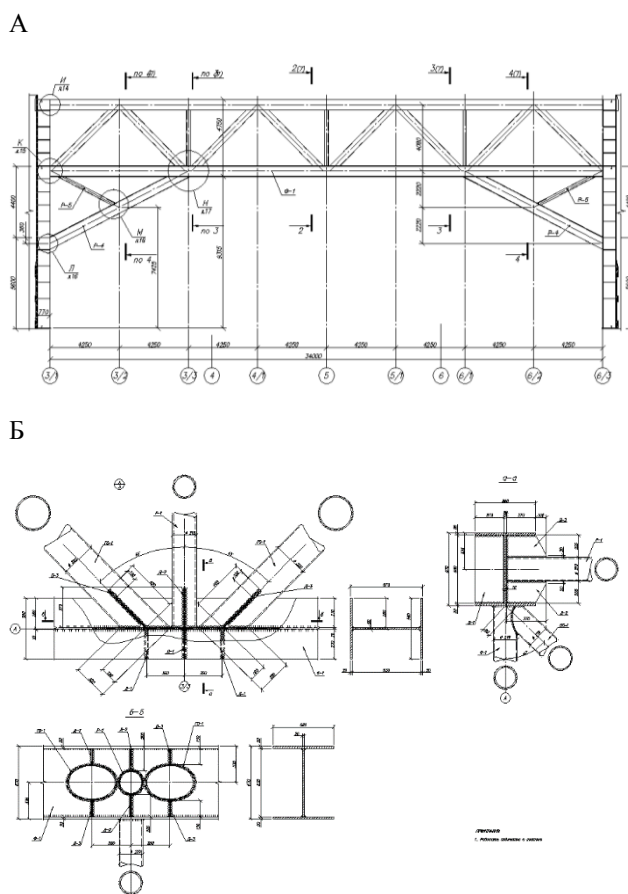


Рис. 11. Конструктивное решение стальной укрупнительной рамы. А - вид поперечной вертикальной несущей фермы; Б - решение узлов сопряжения связей с элементами фермы
Fig. 11. Structural solution of steel enlargement frame. А - a cross-sectional view of a vertical supporting truss; Б - solution of junctions of connections with farm elements

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мочалов Р.А. Оценка сложности добычи нефти на российском шельфе // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – №2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-slozhnosti-dobychi-nefti-na-rossiyskom-shelfe>.
2. Дубинина Н.А. Перспективы развития проектов ОАО «Лукойл» на северном Каспии [текст]/ Дубинина Н.А.//Вестник астраханского государственного технического университета. – 2015. – №1(59). – С.102-108.
3. <http://pasis20.ru/news/dsfasdexcv/>
4. Напряженно деформированное состояние монтажной рамы для транспортировки палубы ледостойкой стальной платформы для Каспийского моря [текст]/В. П. Синцов [и др.]//

Металлические конструкции. – 2012. – №4. – С. 255-265.

5. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения. Часть 1. Конструирование: Недра – Бизнесцентр, 2006. – 560 с.

6. <http://www.rs-class.org/ru/register/news/detail.php?ID=6662>.

7. Адамянц П.П. Проектирование обустройства морских нефтегазовых месторождений / П. П. Адамянц, Ч. С. Гусейнов, В. К. Иванец. – Москва: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, ООО ЦентрЛитНефтеГаз, 2005. – 496 с.

8. Носков Б. Д. Сооружения континентального шельфа / Б. Д. Носков. – Москва: МИСИ, 1986. – 202 с.

9. НД 2-020201-012. РМРС. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. Санкт-Петербург, 2012.

10. ВСН 41.88. Проектирование морских ледостойких стационарных платформ. – Москва: Миннефтепром, 1988.

11. Синцов В.П. К вопросу расчета узлов тяжелых ферм монтажной рамы для транспортировки палубных конструкций [текст] / Синцов В.П., Митрофанов В.А., Синцов А.В. // Промышленное и гражданское строительство. – Екатеринбург, 2014. – №6. – С. 72-76.

12. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. К.: Факт, 2005. – 344 с.

REFERENCES

1. Mochalov R.A. Assessment of the complexity of oil production on the Russian shelf // Interexpo Geo-Siberia. – 2015. – №2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-slozhnosti-dobychi-nefti-na-rossiyskom-shelfe>.
2. Dubinina N.A. Prospects for the development of projects of OJSC "Lukoil" in the northern Caspian [text] / Dubinina N.A. // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. – 2015. – No. 1 (59). – Pp.102-108.
3. <http://pasis20.ru/news/dsfasdexcv/>
4. Stress-strain state of the mounting frame for transporting the deck of an ice-resistant steel platform for the Caspian Sea [text] / V.P. Sintsov [et al.] // Metal structures. – 2012. – №4. – Pp. 255-265.
5. Borodavkin P.P. Offshore oil and gas facilities. Part 1. Design: Nedra – Business Center, 2006 – 560 p.
6. <http://www.rs-class.org/ru/register/news/detail.php?ID=6662>.
7. Adamyants P.P. Designing the development of offshore oil and gas fields / P.P. Adamyants, Ch.S. Guseynov, V.K. Ivanets. – Moscow: Russian State University of Oil and Gas. I.M. Gubkina, CenterLitNefteGaz LLC, 2005. – 496 p.
8. Noskov B.D. Structures of the continental shelf / B.D. Noskov. – Moscow: MISI, 1986. – 202 p.

9. ND 2-020201-012. RMRS. Rules for the classification, construction and equipment of floating drilling rigs and fixed offshore platforms. St. Petersburg, 2012.

10. VSN 41.88. Designing offshore ice-resistant stationary platforms. – Moscow: Minneftprom, 1988.

11. Sintsov V.P. On the issue of calculating the knots of heavy trusses of the mounting frame for

transporting deck structures [text] / Sintsov V.P., Mitrofanov V.A., Sintsov A.V. // Industrial and civil construction. - Yekaterinburg, 2014. – No. 6. – Pp. 72-76.

12. Gorodetsky A.S., Evzerov I.D. Computer models of structures. K.: Fact, 2005.344 p.

FEATURES OF THE ELEMENTS OF THE STEEL ENLARGING FRAME FOR THE TRANSPORTATION OF THE OFFSHORE STEEL PLATFORM

Sintsov A.V., Danchenko N.V.

Institute «Academy of Civil Engineering and Architecture», V.I. Vernadsky Crimean Federal University, address: Simferopol, st. Kievskaya, 181, e-mail: sin59@bk.ru

Abstract. One of the key regions of oil and gas production growth in the near future for the Russian oil industry is the Northern Caspian. The Caspian Sea shelf is being developed by JSC "Lukoil". The largest of the explored in Russia over the past 20 years, the V. Filanovsky field, it contains the main recoverable oil reserves. A complex of hydraulic structures is being built for the development of the V. Filanovsky field, and one of these structures of the complex is an ice-resistant offshore platform.

Subject of research: The support blocks and the steel deck of the offshore stationary platform are manufactured and equipped at the ship repair plant. To deliver such large-sized and heavy blocks of the offshore platform to the installation site in the sea, a steel enlarging frame is required. The steel enlarging frame is a complex spatial rod engineering structure. The operation of elements and nodes has been little studied and requires clarification.

Materials and methods: The LIRA CAD software package allows you to get a picture of the stress distribution in the elements of rod metal structures. To study the stress-strain state of the elements of the steel enlarging frame and their coupling nodes, two finite element models have been developed taking into account special loads at various stages of transportation.

Results: As a result of studies of static and dynamic effects from external loads, deformed and strength schemes with information about the elements of the steel frame were obtained. According to the results of the analysis of strength calculations, the following data were obtained: - with the load "excitement" up and down on the right, "efforts decrease by 1%; - with the load "excitement", twisting to the left counterclockwise," efforts decrease by 11-20%; - the device of vertical truss belts (VF) in the form of a composite H-shaped profile made of high-strength steel reduces the material consumption by up to 5% compared to alternative sections; the device of a VF lattice of tubular cross-section and connecting elements made of high-strength steel reduces the material consumption by up to 25% for lattice elements and up to 10% for connecting elements.

Conclusions: The steel enlarging frame, which connects the supporting blocks of the offshore steel platform, must be designed in the form of a spatial rod beam consisting of vertical trusses of rectangular shape, with struts in the support panels and a system of vertical and horizontal connections.

Key words: offshore platform, steel enlarging frame, final element, strength, stability.